

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique
Laboratoire Matériaux de Génie Civil et Environnement
Mémoire de Master en Hydraulique

**ÉVALUATION D'OUTILS POUR ÉTUDIER L'IMPACT DU
CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU**

Youcef ALIANE

Sous la direction du Professeur Abdelmalek BERMAD

Présenté et soutenu publiquement le 19 Septembre 2017

Composition du Jury :

Président	M ^r A. LEFKIR	MCA	ENSTP
Promoteur	M ^r A. BERMAD	Professeur	ENP
Examineur	M ^r H. HOUARI	MAA	UMBB

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique

Laboratoire Matériaux de Génie Civil et Environnement

Mémoire de Master en Hydraulique

**ÉVALUATION D'OUTILS POUR ÉTUDIER L'IMPACT DU
CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU**

Youcef ALIANE

Sous la direction du Professeur Abdelmalek BERMAD

Présenté et soutenu publiquement le 19 Septembre 2017

Composition du Jury :

Président	M ^r A. LEFKIR	MCA	ENSTP
Promoteur	M ^r A. BERMAD	Professeur	ENP
Examineur	M ^r H. HOUARI	MAA	UMBB

ENP 2017

Dédicaces

À Mon père, ma mère

Et mes frères

Remerciements

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la patience d'accomplir ce travail.

Je remercie également toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.

En commençant, en premier lieu, par remercier chaleureusement le professeur *Abdelmalek BERMAD*, de m'avoir fait l'honneur de m'encadrer. Je tiens à le remercier pour tout le soutien qu'il m'a apporté, sa disponibilité, ses conseils avisés et les connaissances qu'il a généreusement partagées avec moi afin de mener à bien ce présent travail.

Mes remerciements vont également à M^r *LEFKIR* pour sa précieuse aide dans l'accomplissement de ce travail, ainsi que le temps qu'il m'a consacré.

J'exprime aussi toute ma gratitude à l'ensemble des enseignants du Département d'Hydraulique, ainsi que les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique, auxquels chacun de nous doit sa formation d'ingénieur.

Enfin, je remercie vivement les membres du jury qui me font l'honneur d'évaluer notre travail.

Merci à vous tous.

ALIANE Youcef

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو تقييم الأدوات لدراسة أثر تقلب المناخ على الموارد المائية على المدى الطويل من خلال محاكاة البيانات اللازمة لأول مرة على مدى فترة 150 سنة (1950-2100) وهي الأداة الأنسب للمنطقة شبه القاحلة في وادي بسكرة.

الكلمات الدالة: تغير المناخ، الجفاف، الموارد المائية، الأمطار، واد بسكرة.

Abstract :

The aim of this work is to evaluate tools to study the impact of climate variability on water resources over the long term by first simulating the necessary data over a period of 150 years (1950-2100) the most suitable tool for the semi-arid zone of Oued Biskra.

Key words : Climate variability, drought, water resources, rainfall, flow Watershed Oued Biskra

Résumé :

Ce travail vise à évaluer des outils d'étude d'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau sur le long terme en simulant d'abord les données nécessaires sur une période 150 ans (1950-2100) et ce pour voir quel serait l'outil le plus adéquat pour la zone semi-aride de Oued Biskra.

Mots clés : variabilité climatique, sècheresse, ressources en eau, outil, bassin versant Oued Biskra

Tables des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....	9
Chapitre I : Présentation du bassin versant d'Oued Biskra.....	12
I.1. Milieux naturels du bassin.....	13
I.1.1. Montagnes	13
I.1.2. Piedmonts	14
I.1.3. Plaines	14
I.2. Unités hydrologiques du bassin.....	14
I.2.1. Bassin supérieur	14
I.2.2. Bassin moyen	14
I.2.3. Bassin inférieur	15
I.3. Caractéristiques morphologiques du bassin	15
I.3.1. Superficie du bassin	15
I.3.2. Orographie.....	16
I.3.3. Forme des bassins.....	17
I.3.4. Réseau hydrographique	19
CHAPITRE II : Collecte et simulation des données.....	22
II.1. Introduction	22
II.2. Données observées	22
II.3. Simulations des modèles climatiques régionaux.....	23
II.3.1. Trajectoires représentatives de concentration (RCP).....	24
II.4. Représentation graphique des données simulées	25
II.4.1. Pluies.....	25
II.4.2. Températures.....	26

CHAPITRE III : Impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau (Application aux scénarii climatiques)	29
III.1. Introduction.....	29
III.2. GR2M	29
III.2.1. Présentation du modèle.....	29
III.2.2. Fonction objectif ou critère d'optimisation.....	31
III.3. Estimation de la lame ruisselée.....	32
CHAPITRE IV : Résultats et conclusions	34
IV.1. GR2M.....	34
IV.2. Estimation de la lame ruisselée	35
IV.3. Conclusions	37
Liste des références bibliographiques	38

Liste des figures

Figure I.1. Situation du bassin versant d'Oued Biskra.	13
Figure II.1. Évolution temporelle du forçage radiatif entre 2000 et 2300.	25
Figure II.2. Évolution temporelle de la pluie (RCP 8.5) entre 1950 et 2100.	25
Figure II.3. Évolution temporelle de la pluie (RCP 4.5) entre 1950 et 2100.	26
Figure II.4. Évolution temporelle de la température (RCP 8.5) entre 1950 et 2100.	26
Figure II.5. Évolution temporelle de la température (RCP 4.5) entre 1950 et 2100.	27
Figure III.1. Schéma conceptuel du modèle GR2M.	31
Figure IV.1. Evolution de la lame ruisselée annuelle moyenne (RCP 8.5).	36
Figure IV.2. Evolution de la lame ruisselée annuelle moyenne (RCP 4.5).	36

Liste des tableaux

Tableau I.1. Superficie des sous-bassins d'Oued Biskra.	16
Tableau I.2. Altitudes caractéristiques des sous-bassins d'Oued Biskra.	16
Tableau I.3. Calcul de l'indice de compacité pour les sous-bassins d'Oued Biskra.	18
Tableau II.1. Modèles climatiques régionaux et noms de leurs institutions.	23

Introduction générale

La variabilité climatique présente des conséquences dramatiques sur le climat, d'où l'intérêt croissant qui lui est porté depuis des années. En effet, un intérêt particulier s'est développé autour de l'étude de cette variabilité ainsi que sa participation dans le changement dans la variation des ressources en eau, pouvant toucher de nombreux secteurs d'activités.

Ces variations entraînent la création et la propagation d'événements catastrophiques tels que les inondations et la sécheresse. L'Algérie est particulièrement sensible à ces phénomènes, et ce en raison de son relief et sa démographie.

Ces événements représentent des cas extrêmes pouvant avoir comme conséquence : un déplacement de la population, une paralysie économique et peuvent même arriver à des pertes de vies humaines. Parmi ces événements ceux cités ci-dessous :

- 20 Octobre 1993 à l'Ouest algérien, avec 22 décès et 14 blessés à Oued Rhiou ;
- 10-11 Novembre 2001 à Bab El Oued où des pluies diluviennes ont causé la mort de 733 personnes, ainsi que d'importants dégâts rendant 30000 habitants sans abris.
- 10 Octobre 2008 à Ghardaïa (600 km au Sud d'Alger), avec 60 décès, 48 blessés et des dégâts considérables.

Outre les phénomènes d'inondation, la sécheresse apparaît clairement sur les pays du bassin méditerranéen depuis le début des années 80, comme le démontre les simulations climatiques (GIEC, 2014 ; Blöchliger et Neidhöfer, 1998 ; Kadi, 1995). Les travaux de Djellouli *et al.* en 1993, ainsi que ceux de Meddi et Meddi en 2007, démontrent que celle-ci est particulièrement prononcée en Algérie à travers l'existence de phénomènes météorologiques extrêmes et de catastrophes naturelles.

Les régions arides à semi arides de l'Algérie subissent des périodes de sécheresse avec des pluviométries déficitaires et de faibles écoulements des principaux oueds des bassins versants, et ce suite à la variabilité climatique constatée sur ces régions durant ces dernières années. En effet, celles-ci ont connu d'importantes baisses de volumes d'eau de surface stockés, causant ainsi des difficultés dans l'alimentation en eau potable des régions et la satisfaction de son agriculture. La gestion de cette situation nécessite alors la connaissance des facteurs climatiques et l'étude de leurs impacts.

L'Algérie subit alors un manque d'eau important accentué par l'augmentation sans cesse des besoins. Par conséquent, une mobilisation et une préservation de l'eau est nécessaire afin de perpétuer les efforts relatifs au développement. En réalité, sur les 100 milliards de m³ qui précipitent en moyenne chaque année, seulement 15 milliards composent les ressources en eaux superficielles.

De plus, une irrégularité des apports liquides est enregistrée suite à la variabilité interannuelle et saisonnière des précipitations. Elle s'accompagne tantôt de violentes crues, tantôt de périodes de basses eaux pouvant durer plusieurs mois d'affilée. Ceci impact directement l'agriculture en causant des baisses sensibles de production. C'est pourquoi il est essentiel de déterminer les diverses modifications du régime en Algérie dans le but d'identifier l'impact de l'évolution du régime hydrologique et les ressources superficielles et souterraines.

L'objectif de cette étude consiste en l'évaluation d'un outil pour étudier l'impact de la variabilité climatique sur les ressources hydrique à long terme et plus particulièrement dans les zones semi-arides de l'Algérie, à travers l'étude du bassin versant d'Oued Biskra situé dans la partie Est du pays.

- Comment avoir les données sur le long terme ?
- Quelles sont les tendances de l'évolution des pluies futures ?
- Quelles seraient les conséquences de cette évolution sur les ressources en eau ?

La réponse à ces questions aura permis d'établir et de mettre en forme le présent travail. En plus de l'introduction, ce mémoire est scindé en quatre (4) chapitres :

Le bassin d'étude est présenté dans notre **premier chapitre**. Ce dernier regroupe l'ensemble des caractéristiques du bassin versant d'Oued Biskra concerné par l'analyse.

Une étude des bases de données a été réalisée dans **le deuxième chapitre**. Cette étude consiste à utiliser des modèles climatiques pour avoir des données simulées sur une période de 1950 à 2100.

Le choix des outils d'étude de l'impact a été réalisé dans **le troisième chapitre**.

Nous clôturons notre travail en présentant, dans **le dernier chapitre**, les différents résultats et analyses trouvés à partir des outils choisis.

CHAPITRE I
PRESENTATION DU
BASSIN VERSANT

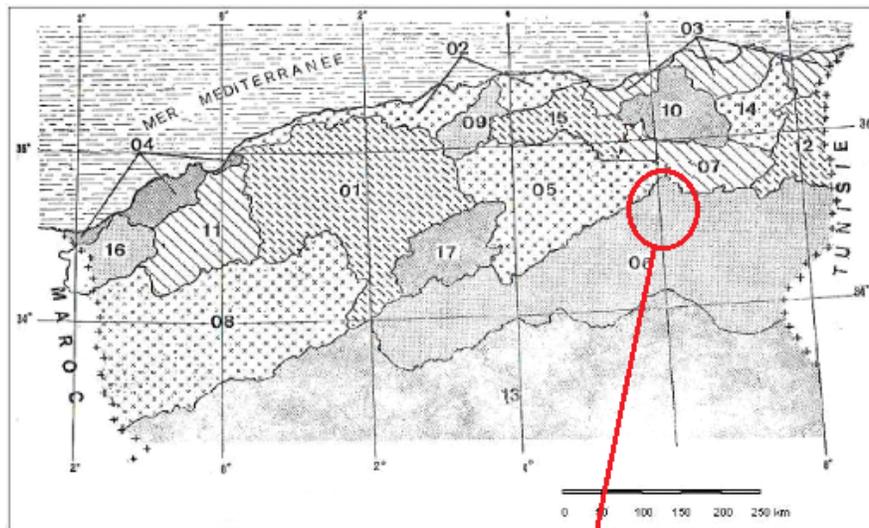
Chapitre I : Présentation du bassin versant d'Oued Biskra

Le bassin versant (ou encore bassin hydrographique) est l'unité d'étude en hydrologie, ce nom représente la surface de collecte des précipitations alimentant un cours d'eau dont la trajectoire de son écoulement et son drainage est imposée par les différentes pentes de la topographie qui y règne.

Il est limité par des lignes de partage des eaux qui servent à séparer les différents bassins qui se trouvent cote à cote. Ces dernières sont clairement visibles dès lors que le relief est bien marqué, tandis qu'elles sont peu remarquables dans les régions plates où les écoulements tendent à se perdre dans les sables ou les cuvettes désertiques.

Le bassin d'Oued Biskra quant à lui, appartient au bassin Chott Melghir, il s'étend sur une superficie de 3147 km², avec :

- Au nord Djebel Metlili (1496m) et la chaîne montagneuse de Bellezma (2091m) ;
- Au sud les montagnes des Aurès et Djebel Azeg (1937m) ;
- A l'est Djebel El Mahmel (2321m), Djebel Asker (1679m) et Djebel Ich Ali (1815m).



- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 01 : Cheliff ; | 02 : côtiers algérois ; | 03 : côtiers constantinois ; |
| 04 : côtiers oranais ; | 05 : Chott Hodna ; | 06 : Chott Melrhir ; |
| 07 : Hauts Plateaux constantinois ; | 08 : Hauts Plateaux oranais ; | 09 : Isser ; |
| 10 : Kébir-Rhumel ; | 11 : Macta ; | 12 : Medjerda ; |
| 13 : Sahara ; | 14 : Seybouse ; | 15 : Soummam ; |
| 16 : Tafna ; | 17 : Zahrez. | |

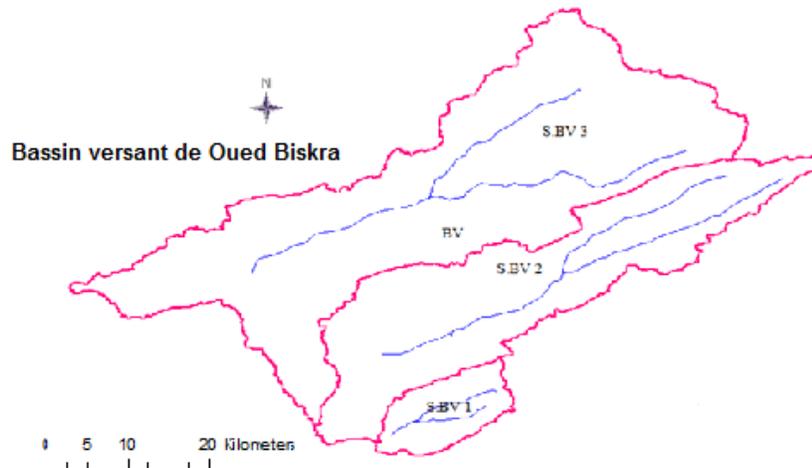


Figure I.1. Situation du bassin versant d'Oued Biskra.

I.1. Milieux naturels du bassin

Le bassin versant d'Oued Biskra comporte des éléments naturels impactant son comportement hydrologique. Il est divisé en trois (3) différents milieux naturels qui sont :

I.1.1. Montagnes

Composés principalement de massifs montagneux des Aurès dans le sud du bassin, elles sont aussi constituées par les monts d'Asker (1833 m), Ras Errih (1916 m) et Djebel Azeg (1937 m). Au nord, la chaîne montagneuse de Bellezma s'impose avec ses 2091 m, elle est caractérisée par de forts reliefs en plusieurs chaînons orientés E.N.E.-O.S.O. et dont l'altitude accroît progressivement d'ouest en est pour atteindre leur point culminant au Djebel Rfaa à 2178 m d'altitude ainsi qu'au Djebel Metlili à 1496 m. L'est quant à lui est caractérisé par Djebel El Mahmel avec une altitude de 2321 m et Djebel Ich Ali avec ses 1815 m.

Ces reliefs représentent une barrière naturelle dont le rôle hydrologique se reflète à travers leur influence sur les divers paramètres climatiques.

I.1.2. Piedmonts

Représente une zone de transition entre la montagne et la plaine d'étendant d'est en ouest. A titre d'exemple, le piedmont méridional dont les collines à pente douce et les étendues planes se situent à une altitude variant de 1200 à 1600 m.

I.1.3. Plaines

Représentent la partie plate du bassin se trouvant au nord-est des piedmonts et limitées par les courbes de niveau 800 et 1200 m, utilisées le plus souvent pour les activités agricoles saisonnières. Elles sont le plus exposée aux crues qui, par charriage, alimente la zone de dépôts sableux, graveleux et limoneux.

I.2. Unités hydrologiques du bassin

L'unité hydrologique du bassin peut être décomposée en trois (3) grands ensembles, à savoir :

I.2.1. Bassin supérieur

Représente une région encadrée de chaînes montagneuses dont l'élévation est faible par exemple le mont de Bellezma avec ses 2091 m. Son nord est couvert de forêts, par contre son sud est dénudés et rocaillieux.

Cette zone est caractérisée par une importante alimentation en eau, d'ailleurs elle est drainée par Oued El Hai, Oued Tilatou et Oued Fedhala.

I.2.2. Bassin moyen

Englobant la zone du piedmont et une partie de la plaine, ce bassin est entouré d'un certain nombre de montagnes :

- Au nord-ouest par le relief d'Ain Zaatout ;

- Au nord par Djebel Mahmel avec ses 2321 m ;
- Au sud-est par Djebel Lazreg avec ses 1937 m ;
- Au sud, la dépression saharienne d'El Outaya se dresse avec des reliefs moins important que le précédent bassin et dont l'altitude varie de 300 à 1600 m.

Ce bassin est alimenté par Oued Djemourah formé d'Oued Abdi et Oued Bouzina dont les ramifications prennent source des Djebel El Mahmel et Boutelarmine.

I.2.3. Bassin inférieur

Situé au sud du bassin d'oued Biskra, il est limité :

- Au nord par Djemourah,
- A l'est par Djebel Ras Chicha,
- A l'ouest par la plaine d'El Outaya,
- Au sud par Biskra.

Ses reliefs accidentés se caractérisent par des altitudes variant de 200 à 1200 m. Il est drainé par Oued Lafrah qui prenant source de Djebel Ich Oumared à 1270 m, ainsi que d'autres petits cours d'eau sur sa rive droite.

En résumé, le bassin versant d'oued Biskra présente un relief diversifié reflétant la nette opposition topographique montagne-plaine qui lui est propre. Il se divise en ensembles naturels bien déterminés tel que les plaines succèdent aux montagnes en passant par des collines jalonnant la ligne de contact entre ces derniers.

I.3. Caractéristiques morphologiques du bassin

Les caractéristiques morphométriques du bassin consistent en : sa forme, son altitude caractéristique ainsi que sa superficie. Ces derniers, combinés ou pris chacun à part, interviennent dans les modalités de l'écoulement, c'est pourquoi il est nécessaire de les présenter.

I.3.1. Superficie du bassin

Etant une dimension importante pour les calculs hydrologique (bilan, module, débit spécifique...), la surface du bassin représente l'aire limitée par le contour de ce dernier et dans lequel l'eau précipité se dirige vers un point bien précis.

En ce qui concerne le bassin d'Oued Biskra, la netteté de ses limites n'est visible que dans les parties montagneuses où les reliefs sont établis, contrairement à la partie Sud du bassin où les plaines à topographie plane ou autres formations perméables dominant. Ainsi, la détermination de

la surface du bassin varie d'un opérateur à un autre suivant leur propre établissement des délimitations, le planimétrage ainsi que l'instrumentation et l'échelle utilisées.

Tableau I.1. Superficie des sous-bassins d'Oued Biskra.

Bassin	Superficie (km²)	
	Par planimétrage	D'après l'ARNH
El Hai	1910	2056
Djemourah	1029	696
Biskra complémentaire	208	-
Biskra	3147	2752

L'aire du bassin versant à la station de Biskra est d'environ 3147 km², ce dernier est divisé en trois (03) sous-bassins, à savoir :

- Le sous-bassin d'Oued El Hai, contrôlé par la station hydrométrique qui y sise (El Hai) présente une superficie de 1910 km² ;
- Le sous-bassin d'Oued Djemourah, supervisé par la station hydrométrique du même site (Djemourah), possède une superficie de 1029 km² ;
- Le sous-bassin d'Oued Biskra complémentaire, libre de tout contrôle, présente une superficie de 208 km².

I.3.2. Orographie

L'altitude représente un paramètre important intervenant dans les divers facteurs météorologiques et hydrologiques. En effet, à titre d'exemple, les gradients pluviométriques et thermiques dépendent essentiellement de la pente du relief, et dans certain cas de la vitesse d'écoulement aussi (plus importante en montagne qu'en plaine).

Le tableau suivant regroupe les diverses altitudes caractéristiques des sous-bassins de la zone.

Tableau I.2. Altitudes caractéristiques des sous-bassins d'Oued Biskra.

Bassin	Altitudes caractéristiques en (m)			
	H_{max}	H_{min}	$H_{max} - H_{min}$	H_{moy}
El Hai	2091	164	1927	956
Djemourah	2321	193	2128	998
Biskra comp.	1270	150	1120	410
Biskra	2321	150	2171	950

D'après le tableau, l'altitude maximum du bassin d'oued Biskra est de 2321 m et ce au sommet de Djebel El Mahmel, tandis que l'altitude minimum est enregistrée à la station de Biskra avec 150 m, ce qui donne une dénivelée de 2171 m.

Par ailleurs, l'altitude moyenne au niveau de l'ensemble du bassin est de 950 m. Cette altitude est plus important dans le sous-bassin d'Oued Djemourah avec 998 m et n'est que de 410 m au niveau d'Oued Biskra complémentaire.

De plus, la dénivelée impactant la pente hydraulique des vallées et des lits des oueds est plus prononcée dans les sous-bassins d'Oued El Hai et Djemourah avec respectivement 1927 m et 2128 m, par contre elle est moins importante dans le sous-bassin d'Oued Biskra complémentaire avec 1120 m.

Sur l'ensemble du bassin, faible sont les étendues de haute altitude supérieure à 1800 m tels qu'ils correspondent aux massifs montagneux de Bellezma, les monts du Zab et celles des Aurès, taillés par Oued Biskra traversant le bassin du nord au sud-ouest. Cette tranche est d'environ 2,5 % de la surface du sous-bassin d'Oued El Hai et elle inclut les sommets de Bellezma, Ich Ali et Metlili. Elle représente aussi 3 % de la surface du sous-bassin d'Oued Djemourah et englobe les sommets de Djebel El Mahmel, Azeg, Boutlarmine et Djebel Asker.

En ce qui concerne les tranches d'altitude inférieur à 1000 m, ces dernières ne correspondent qu'aux vallées drainées par Oued Biskra, c'est-à-dire 11,5 % de la surface totale d'étude.

Les tranches d'altitude dominante varie d'un sous bassin à un autre. En effet, les tranches 400 – 1000 m à titre d'exemple dominant le bassin d'Oued Biskra avec 65 % de la surface globale.

Sur le sous-bassin d'Oued El Hai, la tranche 500 – 1000 m s'étend sur plus de 50 % de la surface. Le sous-bassin d'Oued Djemourah quant à lui se caractérise par ses reliefs montagneux, c'est pourquoi c'est la tranche 1300 – 1700 m qui domine avec 56 % de la surface ce qui fait de ce sous-bassin connaît une importante abondance des précipitations et de l'écoulement.

Enfin, le sous-bassin d'Oued Biskra complémentaire quant à lui connaît une prédominance des reliefs dont l'altitude varie entre 200 et 1200 m avec 77 % de sa surface ce qui fait de ce sous-bassin une zone à haut risque d'inondations.

I.3.3. Forme des bassins

En plus de la surface et de l'altitude, la forme d'un bassin peut aussi avoir son impact sur l'écoulement et sur l'allure de l'hydrogramme de crue. Ainsi, des bassins ramassés et allongés ne réagiront pas de la même manière malgré la similarité des autres conditions.

Cette caractéristique s'exprime à travers divers indices, dont l'indice de compacité de Gravelius qui peut être défini comme étant le rapport du périmètre stylisé du bassin au périmètre d'un cercle ayant la même surface. Plus l'indice se rapproche de l'unité plus la forme du bassin sera ramassée et par conséquent le temps de concentration de l'eau court.

Tableau I.3. Calcul de l'indice de compacité pour les sous-bassins d'Oued Biskra.

Bassin	Superficie (km ²)	Périmètre	Indice de compacité
El Hai	1788	229	1.52
Djemourah	906	184	1.71
Biskra complémentaire	93	99	2.87
Biskra	2787	250	1.33

Le tableau ci-dessus permet de montrer que le sous-bassin le plus compacté (ou ramassé) est celui d'Oued Biskra avec un indice de compacité $K_c = 1,33$. Cette compacité est inversement proportionnelle à la surface, tel que l'indice au niveau d'Oued Biskra complémentaire est de $K_c = 2,87$, ce qui se traduit par une forme très allongée et donc un temps de concentration très élevé. C'est aussi le cas en ce qui concerne les sous-bassins d'Oued El Hai et Oued Djemourah avec, respectivement, 1,52 et 1,71.

Globalement, le bassin d'Oued Biskra dans son ensemble présente une forme allongée favorisant un temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire important, et par conséquent de faibles débits de pointes de crues.

Le calcul de l'indice de compacité dépend essentiellement de la géométrie du bassin assimilé à un plan horizontal. Et même si ce dernier possède une certaine influence sur l'écoulement, il ne permet pourtant pas de prédire la forme des hydrogrammes de crues malgré leur dépendance des formes des divers bassins d'étude. Néanmoins, ceci peut être vrai pour les bassins de grandes tailles, où l'effet de la surface limite l'influence des autres facteurs physico géographiques qui influencent l'écoulement et dont le plus prédominant n'est pas la forme du bassin mais son système de pente.

Au final, cet indice permet, entre autres, de comparer le comportement des bassins appartenant au même domaine géographique, quoique ses résultats doivent toujours susciter une certaine remise en cause du fait que son calcul dépend de la manière de déterminer le périmètre stylisé.

I.3.4. Réseau hydrographique

Il représente l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant qui est l'exutoire.

Le réseau hydrographique d'Oued Biskra, principal oued de la région, est composé d'un grand nombre d'affluents et sous affluents collectant les eaux de ruissellement, et ce du sud-ouest de l'Aurès au nord de la ville qu'il traverse pour se déverser dans le Chott Melghir.

Cet oued est la conséquence d'une jonction entre deux (2) affluents : Oued El Hai et Oued Djemourah, drainant respectivement une superficie de 1788 et 906 km². Leur confluence génère Oued Biskra à une altitude de 200 m.

A l'instar d'Oued Biskra, Oued Djemourah résulte aussi de la jonction de deux (2) oueds qui sont : Oued Abdi prenant source du Djebel Lazreg de 1937m et Djebel Boutlarmine avec ses 2178m, il coule vers le sud-ouest.

Oued El Hai quant à lui prend origine sur les flancs de l'Atlas Saharien, qui à son tour prend naissance de la confluence des deux oueds : Fedhala issue du djebel Ich Ali dont l'altitude est de 1815 m et Tilatou descendant des monts de Bellezma de 2091 m. Il coule dans la direction S.E.-N.O. Ce dernier est à l'origine d'Oued Bouaoun, qui suite à sa jonction avec Oued Doufana forme Oued Fedhala s'écoulant du N.O.-S.O.

Malgré le fait d'être alimenté par des cours d'eau d'écoulement périodique, Oued El Hai reste relativement permanent drainant à l'aval de la station d'El Kantara, les massifs de Metlili, Mekrizane et Haouidja. Néanmoins il lui arrive de se perdre dans les dépôts de sable et de gravier de son lit pendant les périodes d'étiages.

Oued Bouzina coule depuis Djebel El Mahmal en contre bas de la plaine de Nerdj jusqu'au Khanguet El Anseur. Il traverse le flanc sud-est du synclinal atteignant par la suite Oued Abdi à Menaâ, cette rencontre forme Oued Djemourah recevant par sa rive gauche Oued Bougatou.

Enfin, Oued Laftah lui prend source de Djebel Ich Oumared du haut de ses 1270 m. Il reçoit sur sa rive droite le petit cours d'eau d'Oued Besbes, En réalité, cet oued est similaire à un ravin saisonnier montrant de haut risque d'inondation en période de crue.

Le temps de concentration est défini comme étant le temps mis par une particule d'eau tombée sur le point le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire, et peut être déterminé par divers formules parmi lesquelles celle de Giandotti.

Souvent utilisé dans l'étude des crues, il permet aussi de comparer différents bassins d'un point de vue hydrologique. Ce dernier est assez important au niveau des sous-bassins d'Oued El Hai et Djemourah situés au nord avec respectivement 15 heures et 11,47 heures, et ce en raison de l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief. Par contre, il est court au niveau du sous-bassin d'Oued Biskra complémentaire avec 6,62 heures en raison de sa faible extension.

Enfin, la prédominance des plaines dans la partie sud ainsi que l'augmentation de la surface du bassin et sa forme allongée font que le temps de concentration qui caractérise l'ensemble du bassin est plus long avec 17 heures.

CHAPITRE II
COLLECTE ET
SIMULATION DES
DONNEES

CHAPITRE II : Collecte et simulation des données

II.1. Introduction

Face à l'aridification et des changements parfois brusques du climat, la répartition actuelle des conditions climatiques sera réorganisée dans le monde, certains climats vont disparaître entièrement et de nouveaux climats sont attendus dans certaines régions (Williams et al. 2007). Le bassin méditerranéen, en raison de sa situation géographique qui le place entre les régions arides (Sahara entre autre) et humide (nord de l'Europe), n'a pas échappé à cette règle (Folland et al. 2001; Lionello et al. 2006). Rappelons que ce bassin se trouve sous l'influence de la branche descendante de la circulation de Hadley en été et des flux d'ouest de l'océan Atlantique en hiver (Bolle 2003). C'est une zone de transition dans laquelle les systèmes extratropicaux et tropicaux sont en concurrence influençant l'occurrence d'événements climatiques modulés par le voisinage de la mer Méditerranée (Driouech et al. 2008). Cette région, dont l'Algérie fait partie, a été considérée comme la zone où il y a le plus de consensus entre les différents types de projections et types de modèles utilisés par GIEC en ce qui concerne la diminution dans le futur des totaux pluviométriques (Christensen et al 2007). Cependant, la résolution des modèles du GIEC, de 100 à 200 km, ne permet pas d'avoir suffisamment de détail régional. Utiliser des modèles régionaux du climat permet d'augmenter la résolution. Ceux-ci représentent plus finement une sous-partie du globe, en utilisant les simulations globales notamment pour décrire les conditions aux bords de cette sous-partie. Dans ce cas, la puissance des supercalculateurs est essentiellement mise au service de la résolution spatiale.

Dans ce chapitre nous allons présenter les données climatiques observées au niveau de la station de Foug El Gherza sur une période de 1951-2005, et aussi utiliser des modèles climatiques régionaux pour avoir les précipitations et les températures simulées entre 2006 et 2100.

II.2. Données observées

Entre les différents jeux de données météorologiques qui couvrent spatialement l'Algérie, on a choisi les données des températures et des précipitations mensuelles provenant des données mesurées sur une grille de résolution spatiale de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ de la dernière version du Climatic Research Unit (CRU Version TS.3.22 at $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ résolution) pour la période de 1951 à 2005. La base de Climate Research Unit (CRU) de l'université d'East Anglia est l'une des sources de données climatiques les plus utilisées. Ils fournissent les données de température et de précipitation avec une résolution de 0.5° et une couverture temporelle de 1901 à 2016.

II.3. Simulations des modèles climatiques régionaux

Nous utilisons des simulations effectuées avec les modèles climatiques régionaux (MCR) utilisées dans le cadre du programme de l'Expérience coordonnée de réduction d'échelle des prévisions météorologiques au niveau régional 'CORDEX-Africa' (Coordinated Regional climate Downscaling EXperiment).

CORDEX est un exercice coordonné de simulations numériques du climat mis en œuvre conjointement par plusieurs centres de recherche dans le but de produire les données climatiques à l'échelle réduite sur 14 domaines régionaux (Amérique du Sud, Amérique centrale, Amérique du Nord, Afrique, Europe, Asie du sud, Asie de l'est, Asie centrale, Australasie, Antarctique, Arctique, Méditerranée (MED), Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, Asie du Sud-est).

Dans le cadre du CORDEX-african, les modèles climatiques régionaux ont utilisé les conditions aux limites de dix modèles de la circulation générale (MCG) atmosphère-océan (AO) de la 5ème phase du projet d'inter-comparaison des modèles couplés (CMIP5) pour reproduire une nouvelle version des modèles climatiques régionaux pour la région d'Afrique.

Dans notre travail, les simulations de précipitations et températures mensuelles du modèle climatique régional du Rossby Centre sur l'Afrique RCA4 ont été utilisées. Cette base de données est obtenue à partir du modèle régionale de l'institut norvégien de météorologie et d'hydrologie (NorESM1-M).

L'ensemble des données simulées couvre la période 1951-2100 et se compose de la période historique (1951-2005) et la période de projections (2006-2100). La période de projection a été forcée par deux scénarios représentatifs d'évolution de concentration RCP4.5 et RCP8.5 (Representative Concentration Pathways) avec les conditions aux limites des modèles de la circulation générale (MCG) atmosphère-océan (AO).

Tableau II.1. Modèles climatiques régionaux et noms de leurs institutions.

MCR	Nom de l'institution (Pays)
RCA4 (CanESM2)	CCCma (Canada)
RCA4 (CNRM-CM5)	CNRM-CERFACS (France)
RCA4 (IPSL-CM5A)	IPSL (France)
RCA4 (MIROC5)	MIROC (Japan)
RCA4 (HadGEM2-ES)	MOHC (UK)
RCA4 (MPI-ESM-LR)	MPI-M (Germany)
RCA4 (NorESM1-M)	NCC (Norway)
RCA4 (GFDL-ESM2M)	NOAA-GFDL (USA)

II.3.1. Trajectoires représentatives de concentration (RCP)

Les trajectoires représentatives des concentrations de gaz à effet de Serre élaborées par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, le GIEC, dans le 5ème phase du projet d'inter-comparaison des modèles couplés (AR5) renferment un très sombre futur pour l'humanité toute entière et une multitude de formes de vies (IPCC 2013). Les RCP sont des scénarios de l'évolution des concentration de GES (dioxyde de carbone ou CO₂, méthane ou CH₄, protoxyde d'azote ou N₂O...), d'aérosol et de gaz chimiquement actifs, dans l'atmosphère sur la période 2006-2100, avec une extrapolation jusqu'à 2300 (IPCC 2013). Les scénarios sont présumés être tous directement liés aux émissions de CO₂ ; plus on émet du carbone, plus il fera chaud. Actuellement l'Humanité est en plein sur la trajectoire du pire des cas, le RCP8.5 qui nous amènera à un réchauffement Global moyen de 2°C pour l'an 2050 (IPCC 2013). Au nombre de quatre, ils ont été sélectionnés sur la base de 300 scénarios publiés dans la littérature de façon à couvrir une palette aussi large que possible des trajectoires futures de forçage radiatif envisageables. Chacun de ces quatre scénarios RCP est étiqueté en fonction du forçage radiatif qu'il atteint en 2100 : 2.6 W/m², 4.5 W/m², 6 W/m² et 8.5 W/m². La figure II.1. représente ces scénarios, de même que les scénarios «SRES» anciennement utilisés dans le Quatrième Rapport d'Évaluation (AR4) de 2007.

Le scénario le plus optimiste, le RCP 2.6 (très faible émissions 490ppm CO₂ equiv), augmente jusqu'à 3.0 Wm⁻² puis descend à 2.6 Wm⁻² en 2100. Les scénarios RCP 4.5 (faible émissions 650ppm CO₂ equiv) et RCP 6.0 (émissions moyennes 850ppm CO₂ equiv) se stabilisent respectivement à 4.2 Wm⁻² et à 6.0 Wm⁻² après 2100, alors que le scénario RCP 8.5 (tres hautes émissions 1370ppm CO₂ equiv) atteints 8.3 Wm⁻² en 2100 sur une trajectoire montante.

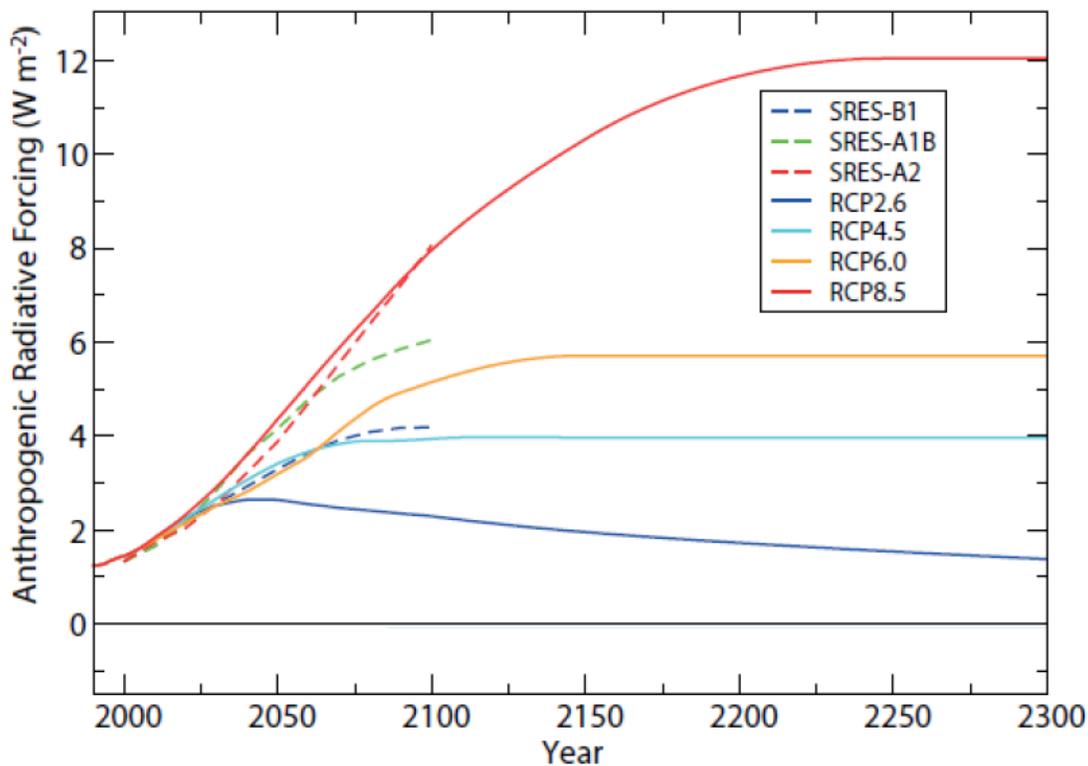


Figure II.1. Évolution temporelle du forçage radiatif entre 2000 et 2300.

II.4. Représentation graphique des données simulées

II.4.1. Pluies

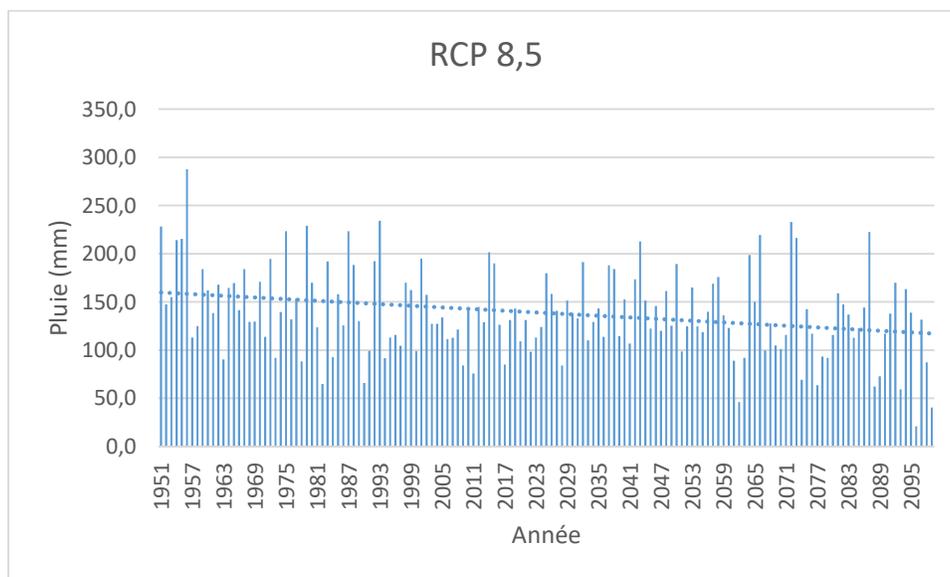


Figure II.2. Évolution temporelle de la pluie (RCP 8.5) entre 1950 et 2100.

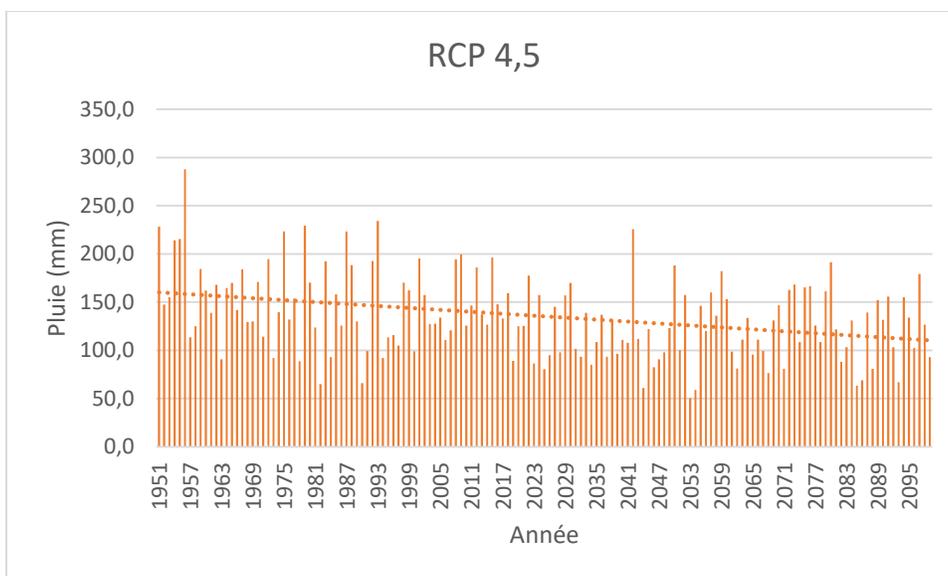


Figure II.3. Évolution temporelle de la pluie (RCP 4.5) entre 1950 et 2100.

II.4.2. Températures

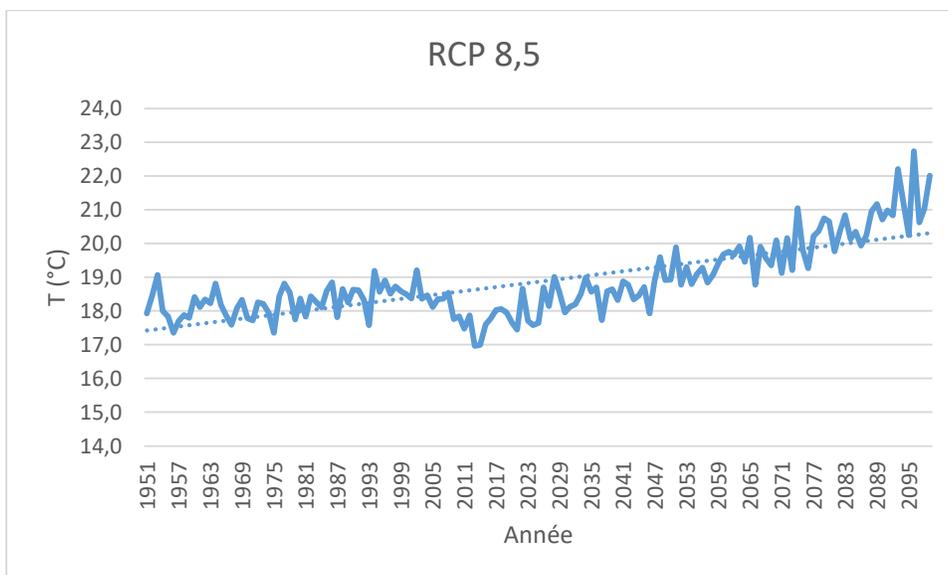


Figure II.4. Évolution temporelle de la température (RCP 8.5) entre 1950 et 2100.

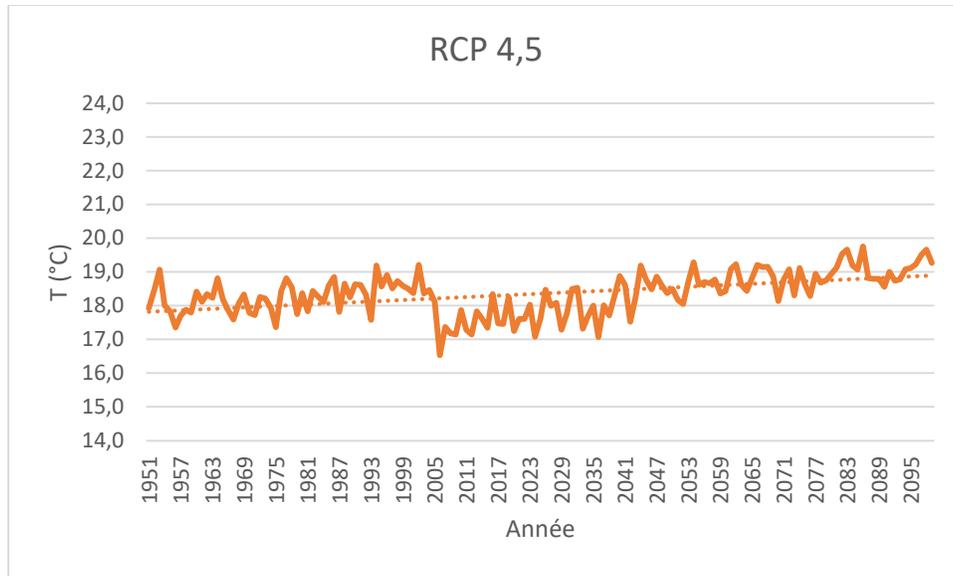


Figure II.5. Évolution temporelle de la température (RCP 4.5) entre 1950 et 2100.

CHAPITRE III
IMPACT DE LA
VARIABILITE CLIMATIQUE
SUR LES RESSOURCES EN
EAU

CHAPITRE III : Impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau (Application aux scénarii climatiques)

III.1. Introduction

Les résultats de maintes études montrent clairement que l'Algérie est prédisposée à la sécheresse, particulièrement au niveau d'Oued Biskra. Dès lors, cette sécheresse climatique peut avoir un effet déplorable sur les différentes parties du cycle d'eau.

Le changement des conditions de température, d'évapotranspiration et de précipitations dans l'espace et dans le temps peuvent avoir un ostensible impact sur les débits des rivières et des lacs.

Plusieurs outils d'évaluation de cet impact existent, parmi lesquelles on retient deux :

- Le modèle GR2M, qui est un modèle hydrologique pluie-débit permettant de simuler des débits pour pouvoir évaluer, en prenant en considération les scénarios climatiques futurs, l'impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques ;
- L'estimation de la lame ruisselée à partir du modèle de Tixeront, pour permettre ainsi de quantifier les conséquences de la variabilité climatique sur les eaux de surface.

Dans notre étude et dans les deux cas, nous allons tout d'abord projeter les conditions climatiques selon les scénarii élaborés, ensuite on applique ces derniers dans les outils utilisés, et au final on étudiera l'impact sur les ressources en eau pour en tirer des conclusions.

III.2. GR2M

III.2.1. Présentation du modèle

La particularité du modèle GR2M, développé au CEMAGREF, réside dans sa simplicité. Ce modèle conceptuel global fonctionne au pas de temps mensuel et ne comporte que deux paramètres à caler. Le modèle GR2M est constitué d'un réservoir sol qui régit la fonction de production et est caractérisé par son remplissage maximal A , qui correspond à la capacité en eau du sol, nommée WHC dans cette étude. Il comporte également un réservoir eau gravitaire qui régit la fonction de transfert. Le schéma conceptuel est présenté en figure III.1.

Les deux entrées pluie (P) et évapotranspiration potentielle (ETP) sont modulées dans la même proportion et concomitamment en multipliant les valeurs de ces entrées par un coefficient $X1$ ($0 < X1 < 1$) qui est un des paramètres du modèle. Ce paramètre agit comme un coefficient d'ajustement des entrées, supposant que les précipitations et les ETP sont des variables souvent douteuses et qu'on préfère le modèle décider de la valeur corrective à attribuer. Une quantité U est

ensuite soustraite à la pluie modulée P' ($P'=X1.P$) et à l'évapotranspiration potentielle modulée ETP' ($ETP'=X1.ETP$) du mois considéré. Cette quantité joue le rôle d'interception et permet de calculer les précipitations et les ETP nettes participant à l'écoulement. Au pas de temps mensuel, cette quantité sert à amortir l'effet brutal des entrées dans le modèle. La quantité U est de la forme :

$$U = (P'.ETP') / (\sqrt{P'} + \sqrt{ETP'})^2$$

Ces opérations sur la pluie et l'évapotranspiration donnent respectivement :

$$P_n = X1.P-U \text{ et } E_n = X1.ETP-U$$

Soit H le niveau du réservoir sol en début du pas de temps. Une partie de P_n augmente le niveau du réservoir, qui devient $H1$:

$$H1 = (H+A.V) / (1+H.V/A) \text{ avec } V = \tanh P_n/A$$

Le complément de P_n est donc : $P_e = P_n-(H1-H)$

Sous l'effet de E_n , le niveau $H1$ du réservoir sol devient $H2$:

$$H2 = H1(1-W) / (1+W(1-H1/A)) \text{ où } W = \tanh E_n/A$$

$H2$ correspond au niveau du réservoir sol pour le pas de temps suivant. L'évapotranspiration réelle peut être déduite par différence des niveaux du réservoir sol au début et à la fin de chaque pas de temps.

Le réservoir eau gravitaire reçoit $(1-\alpha)P_e$, tandis que αP_e s'écoule directement. Le niveau S du réservoir eau gravitaire au début du mois considéré augmente et devient $S1$: $S1 = S + (1-\alpha)P_e$

Le débit délivré par ce réservoir est : $Q_g = X2.S1$, avec $0 < X2 < 1$, $X2$ étant le second paramètre du modèle.

Le niveau $S2$ du réservoir à la fin du pas de temps de calcul est alors : $S2 = S1 - Q_g$

L'écoulement total Q s'écrit alors : $Q = Q_g + \alpha P_e$

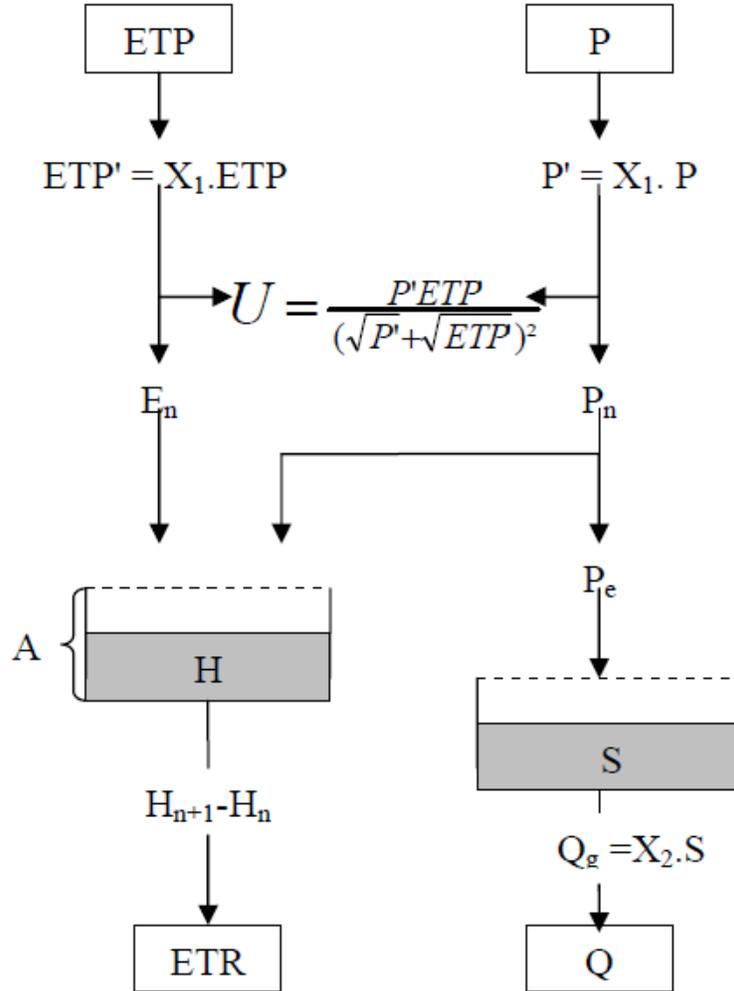


Figure III.1. Schéma conceptuel du modèle GR2M.

III.2.2. Fonction objectif ou critère d'optimisation

La fonction critère ou critère numérique de calage est "l'objet" numérique de référence lors du calage automatique d'un modèle. Cette fonction doit tendre vers une valeur donnée (minimum, maximum, ou constante donnée) lorsque les valeurs calculées tendent vers les valeurs observées. La fonction critère que nous avons retenue est celle proposée par Nash et Sutcliffe (1970), que nous désignerons par l'appellation "Nash". Elle est définie par :

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_m^t - Q_o^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \overline{Q_o})^2}$$

Avec :

Q_m : débit simulés ; Q_o : débit observés ; $\overline{Q_o}$: moyenne des débit observés

Le modèle ajusté est meilleur quand la valeur du critère se rapproche de 100 %. Ce critère adimensionnel permet de juger de la qualité d'ajustement des modèles et facilite la comparaison entre les bassins, dont les écoulements sont d'ordre de grandeur différent. Nash et Sutcliffe (1970) indiquent qu'il n'y a eu aucun essai objectif sur la signification de leur critère puisque l'on ne connaît pas les degrés de liberté du modèle. Cependant, on peut dire qu'un critère de moins de 60 % ne donne pas une concordance satisfaisante entre les hydrogrammes observés et simulés par le modèle.

III.3. Estimation de la lame ruisselée

La lame d'eau ruisselée quant à elle est estimée par l'application du modèle de Tixeront (1964) amélioré plus tard par Mouelhi (2003). L'application de ce modèle repose sur l'hypothèse stipulant qu'il existe une certaine corrélation entre la pluviosité moyenne annuelle et le ruissellement moyen annuel pour une longue période d'observation. Ces corrélations existent bel et bien lorsqu'on a affaire à des sols normalement constitués, c'est-à-dire ni trop perméables, ni trop squelettiques. La formule du modèle amélioré est alors établit selon l'équation ci-dessous :

$$R = [P^4 + (aE)^4]^{\frac{1}{4}} - aE$$

Où :

R : Lame d'eau annuelle ruisselée (mm);

P : Lame d'eau précipitée annuelle (mm);

E : Lame d'eau évapotranspirée annuelle (mm);

a : Coefficient correctif de l'évapotranspiration potentielle.

Il faut rappeler alors que le but de l'estimation des lames d'eau ruisselées annuellement sur les différentes périodes d'observation est de quantifier les conséquences de la variabilité climatique sur les eaux de surface.

CHAPITRE IV
RESULTATS ET
CONCLUSIONS

CHAPITRE IV : Résultats et conclusions

IV.1. GR2M

Dans notre cas nous allons essayer de trouver les deux paramètres du modèle GR2M, en utilisant comme fonction objectif le critère de Nash-Sutcliffe décrit ci-dessous :

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_m^t - Q_o^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \overline{Q_o})^2}$$

Q_m : débit simulés ; Q_o : débit observés ; $\overline{Q_o}$: moyenne des débit observées

Les données utilisées sont ceux du centre de recherche CEMAGREF, nous allons les utiliser comme étalon et voir si notre programme pourra trouver l'optimum.

Nous avons donné les valeurs suivantes au modèle et à l'algorithme :

S_{ini} : 325.35 mm

H_{ini} : 30 mm

nombre d'itération: 20.

nombre de division de l'espace: 10.

Les résultats trouvés sont les suivants :

```
*****
Final Results-----
bestfun =
  Inf
bestrun =
  1
best_variables =
      2177      1
*****
Elapsed time is 21.914243 seconds.
```



Le nombre de Nash et donc $E = \text{infini}$, c'est-à-dire que les débits observés sont faibles et se rapproche du 0.

On peut donc conclure que le modèle pluie-débit GR2M n'est pas applicable dans la région d'Oued Biskra qui est une zone semi-aride où les précipitations sont faibles, le débit n'est pas important et l'évapotranspiration est très élevée.

IV.2. Estimation de la lame ruisselée

Pour quantifier l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau superficielles sur le long terme, le modèle de Mouelhi est alors appliqué sur la période historique (1950-2005) et la période simulée (2006-2100).

Les résultats sont obtenus sous forme de graphe pour les deux scénarios futurs utilisés à savoir : le RCP 4.5 et le RCP 8.5.

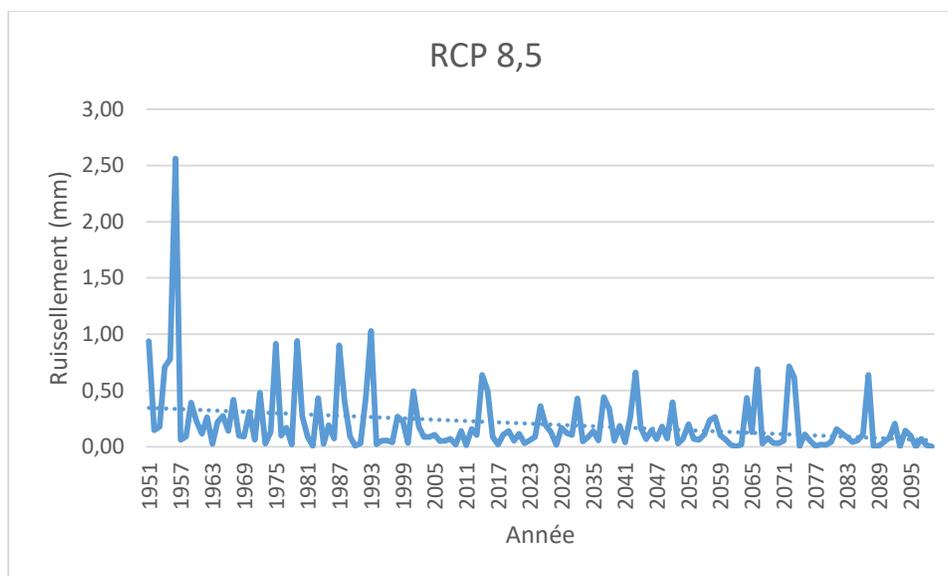


Figure IV.1. Evolution de la lame ruisselée annuelle moyenne (RCP 8.5).

La figure IV.1. a permis de voir l'évolution du ruissellement annuel moyen observé et simulé à partir du scénario RCP 8.5 (le plus pessimiste).

La courbe de tendance affirme qu'il y a vraiment une diminution du ruissellement avec le temps, mais avec l'apparition des phénomènes rares comme les crues.

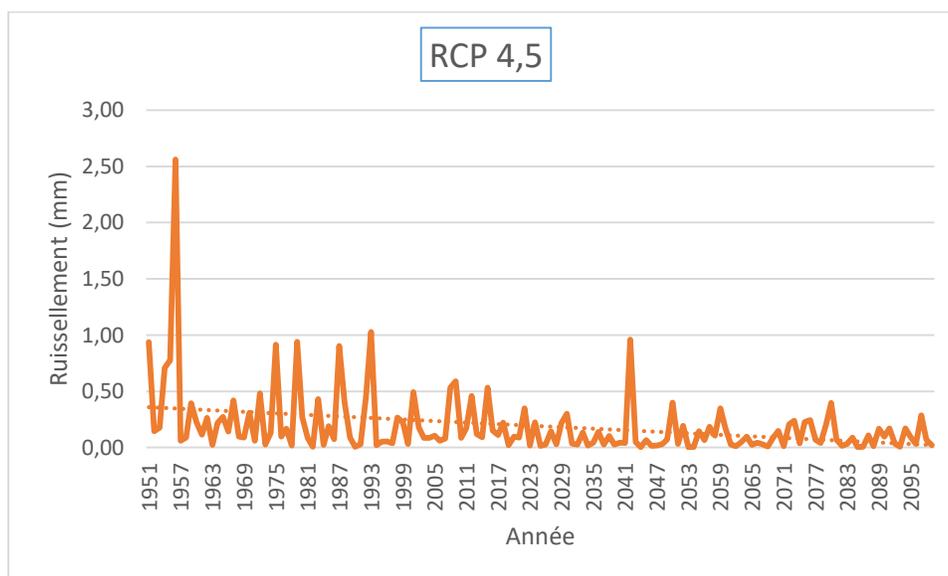


Figure IV.2. Evolution de la lame ruisselée annuelle moyenne (RCP 4.5).

Pour le scénario moyen RCP 4.5 la tendance du ruissellement se voit toujours à la baisse, avec cette fois une baisse importante de la lame ruisselée au cours de la période 2060-2100. Cette diminution se traduit par l'absence des fortes crues et de la rareté lente progressive des précipitations.

Dans les deux cas, les ressources en eau superficielles s'amoindrissent de jour en jour, ce qui laisse entendre que pour un futur proche la variabilité climatique transformera la région de Oued Biskra en une zone exempte de toutes ressources d'eau superficielles.

IV.3. Conclusions

La robustesse des modèles climatiques régionaux a été prouvée grâce à la simulation des données futures et leur coordination avec les données observées.

Les faibles précipitations et l'évapotranspiration très élevée ne sont pas des données fiables à l'utilisation du modèle pluie-débit GR2M.

Le GR2M reste un modèle pluie-débit assez puissant même si il ne prend pas en considération les zones arides et semi-arides.

L'estimation de la lame ruisselée a permis de mettre en évidence l'impact de la variabilité climatique –changement des précipitations et des températures- sur les ressources en eau superficielles à long terme c'est-à-dire sur une période qui va jusqu'à 2100.

Suite aux résultats que nous avons obtenus au niveau de la région d'Oued Biskra, nous avons remarqué que la caractérisation de l'évolution climatique nécessitait l'amélioration de plusieurs points parmi lesquels un renforcement des observations des pluies et des débits, plus particulièrement au niveau des différentes stations. Ce qui permettrait alors une meilleure analyse des effets que peut avoir ce changement sur les ressources hydriques.

Liste des références bibliographiques

Blöchliger H., & Neidhöfer F., 1998 : Impacts des précipitations extrêmes, Rapport de l'orange consultatif en matière de recherche sur le climat et les changements climatiques, pp 40.

GIEC, 2001. Changements climatiques. Rapport de synthèse. <http://www.ipcc.ch>.

GIEC, 2007. Changements climatiques. Rapport de synthèse. <http://www.ipcc.ch>.

GIEC, 2014. Changements climatiques. Rapport de synthèse. <http://www.ipcc.ch>.

Kadi D., 1995. Contribution à l'étude de la sécheresse sur le littoral algérien par le biais de traitement des données pluviométriques et la simulation, Thèse de Magister, Ecole nationale polytechnique d'Alger.

Meddi H. et Meddi M., 2009. Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. Sécheresse, Vol 20, 57-67.

Mouelhi C., 2003. Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journaliers. Thèse de Doctorat, École nationale du génie rural, des eaux et forêts de Paris, France, 274 p.